

PERANCANGAN ANTENA $5/8\lambda$ BERPOLARISASI *CIRCULAR* PADA BAND VHF (30-300 MHz)

¹Yuli Christiyono, ²Imam Santoso, Budi Setiawan

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedharto, S.H., Tembalang, Semarang, Indonesia, 50275
E-mail: ¹yuli@undip.ac.id, ²immstso@gmail.com

Abstract. Since Hertz and Marconi, antennas have become increasingly important to our society until now they are indispensable. They are everywhere: at home and workplaces, on cars and aircraft, also in ships and satellites. So far most used antenna is an antenna with a single polarization, the horizontal polarization or vertical polarization only. The advantage of circular polarization is the radiation of antenna can be well received by the vertical receiving antenna or horizontal receiving antenna.

The purpose of this research is to design and build a circular polarized antenna. Then the values of the parameters measured using Hewlett Packard 8656B Signal Generator as a transmitter and Hewlett Packard 8901A Modulation Analyzer as a receiver. Both measuring devices were used to determine the frequency and power generated by the antenna. SX-1000 SWR meter as a measuring VSWR and analog VU meters are used to determine the signal strength of the antenna.

The result shows that the antenna works well on a predetermined frequency (144 MHz), has omni directional radiation pattern and its VSWR is 1.09. The result of the antenna radiation can also be well received, using vertical and horizontal polarization antenna. VU meter shows that the highest value when antenna used as transmitter is 10 μ V and 11 μ V when antenna is used as receiver antenna.

Keywords: Antenna, vertical polarization, horizontal polarization, circular polarization.

Selama ini antenna yang dirancang sebagai antenna pemancar maupun antenna penerima kebanyakan hanya berpolarisasi vertikal maupun horizontal saja. Tetapi dalam kenyataannya polarisasi sinyal dapat berubah selama dalam perjalanan dari pemancar ke penerima yang disebabkan oleh beberapa faktor, sehingga jika menggunakan polarisasi tunggal kadang-kadang sinyal yang diterima tidak terlalu bagus. Salah satu alternatifnya adalah dengan menggunakan antenna berpolarisasi sirkular pada penerima supaya dapat menerima sinyal dengan polarisasi vertikal maupun horizontal.

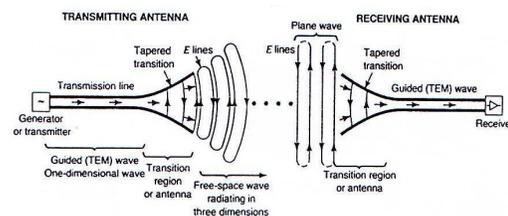
Dari hal tersebut, maka muncul gagasan untuk merancang-bangun suatu antenna dengan polarisasi sirkular untuk frekuensi kerja pada band VHF (30 MHz – 300 MHz).

Antena $5/8\lambda$

Antena menurut Kraus adalah suatu piranti transisi antara saluran transmisi dengan ruang

bebas dan sebaliknya. Antena terbuat dari bahan logam yang berbentuk batang atau kawat dan berfungsi untuk memancarkan atau menerima gelombang radio. Antena memiliki berbagai bentuk rangkaian dan model, bila sebuah antenna dipakai ia memiliki dua kegunaan yaitu (1) memancarkan sinyal gelombang elektromagnetik (2) menerima sinyal gelombang elektromagnetik

Gelombang pemandu berjalan sepanjang jalur transmisi, kemudian diradiasikan menjadi gelombang ruang bebas. Menurut Kraus konsep dasar antenna diilustrasikan seperti gambar 1.



Gambar 1 Konsep dasar antenna

Panjang gelombang adalah jarak yang ditempuh gelombang selama satu perioda. Rumus perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$\lambda = c/f \tag{1}$$

dengan λ =panjang gelombang (m), c =kecepatan cahaya (3.10^8 m/s), f = frekuensi (Hz).

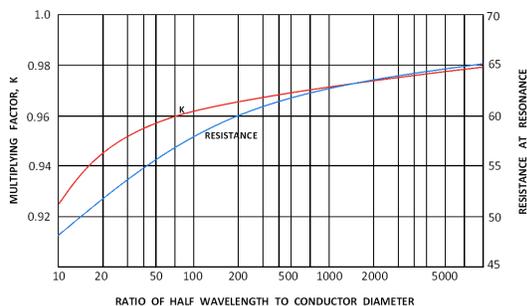
Antena memiliki frekuensi resonansi, sehingga panjangnya tertentu. Bentuk dasar sebuah antenna adalah antenna $1/2\lambda$ (*half wave antenna*). Antena $1/2\lambda$ merupakan sepotong kawat yang panjangnya :

$$1/2 (c/f) = 1/2 (3 \times 10^8)/f = 150/f \text{ meter} \tag{2}$$

Panjang bahan antenna ini adalah panjang listrik atau panjang ruang bebas bagi antenna tersebut (*electrical length/free space length*). Antena terbentang antara tanah dan udara, antenna membutuhkan penyekat terhadap tanah. Udara dan penyekat menyebabkan efek kapasitif, sehingga mempengaruhi kecepatan rambat gelombang elektromagnet. Oleh karena itu, panjang antenna λ dikoreksi dengan faktor K menjadi :

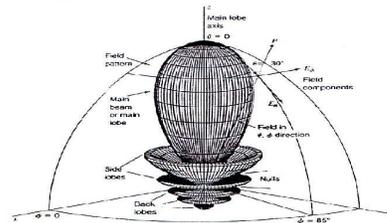
$$L = (150 K/f) \text{ meter} \tag{3}$$

L disini merupakan panjang mekanik atau panjang fisik antenna (*physical length*). Besar nilai K dapat dilihat dapat dilihat pada gambar 2, yaitu tergantung pada besar perbandingan $1/2\lambda$ terhadap diameter batang konduktor (bahan antenna). Semakin besar diameter batang konduktor, semakin kecil perbandingan $1/2\lambda$ terhadap diameter batang konduktor, dan semakin kecil nilai K . Pada gambar 2 juga digambarkan hubungan antara diameter batang konduktor dengan resistansi saat resonansi. Semakin besar diameter batang konduktor, kapasitas bertambah, induktansi berkurang, resistansi berkurang, faktor kualitas (Q) berkurang, dan kurva antenna tajam namun lebar jalur (*bandwidth*) semakin lebar. Gambar tentang nilai K menurut Auerbach adalah sebagai berikut.



Gambar 2 Faktor K Terhadap Diameter Bahan

Pola radiasi adalah penggambaran pancaran energi antenna sebagai fungsi koordinasi ruang, seperti pada Gambar 3. Antena diletakkan pada titik asal koordinat ruang. Pancaran energi yang dimaksud adalah intensitas medan listrik dan daya. Kraus menggambarkan pola radiasi antenna sebagai berikut:



Gambar 3 Pola radiasi antenna

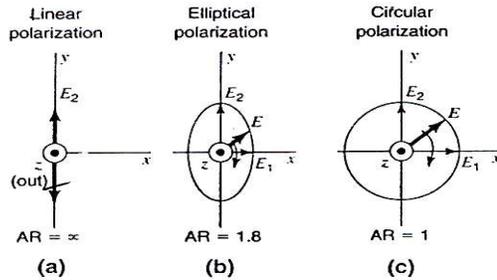
Polarisasi gelombang didefinisikan sebagai arah dari vektor medan listrik terhadap arah rambatan. Polarisasi antenna dibagi menjadi:

- 1) Polarisasi *horizontal* dan polarisasi *vertikal*, gelombang radio yang terdiri dari medan listrik dan magnet yang saling tegak lurus. Saat komponen listrik horizontal maka gelombang dikatakan terpolarisasi horizontal, maka gelombang akan teradiasi pada kutub-kutub horizontal. Sebagai acuan dapat dilihat pada permukaan bumi. Jika medan listrik yang terjadi vertikal maka kutub-kutub vertikal akan mempolarisasi gelombang secara vertikal pula.
- 2) Polarisasi *circular* (melingkar), Pada saat dua gelombang yang sama diantaranya saling mendahului 90 derajat maka medan listrik tersebut akan berputar dengan kecepatan sebesar frekuensi pembawanya dan akan terpolarisasi melingkar. Hanya pada kasus khusus di mana komponen horizontal dan vertikal sama – sama kuat dengan beda fasa 90 derajat maka disebut radiasi circular Polarization.

Polarisasi gelombang dikelompokkan menjadi polarisasi linear, lingkaran (*circular*), dan elips. Polarisasi linear seperti Gambar 4 adalah vektor medan listrik yang berada pada bidang yang sama dengan arah rambatan. Suatu gelombang disebut terpolarisasi tegak (*vertical*), bila vektor medan listrik tegak lurus terhadap permukaan bumi. Dan terpolarisasi mendatar (*horizontal*), jika vektor medan listrik sejajar dengan permukaan bumi.

Dalam keadaan tertentu, vektor medan listrik dapat berputar terhadap garis rambatan. Ini disebabkan oleh interaksi gelombang dengan

medan magnet bumi pada lapisan F_2 dari ionosfer. Perputaran vektor listrik dapat juga dihasilkan oleh jenis antena yang digunakan. Alur yang digambarkan oleh ujung dari vektor medan listrik bisa berbentuk elips dan disebut polarisasi elips yang diilustrasikan oleh Gambar 4(b).



Gambar 4 Polarisasi Antena

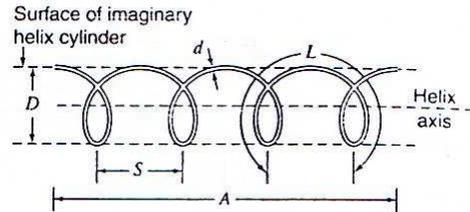
Bila perputarannya sesuai dengan arah jarum jam jika dilihat dalam arah rambatan, maka polarisasinya disebut sebagai tangan kanan (*right handed*) dan jika berlawanan dengan arah jarum jam, polarisasinya adalah ke kiri (*left handed*). Keadaan khusus dari polarisasi elips disebut polarisasi lingkaran seperti pada Gambar 4(c).

Agar dapat menerima sinyal yang maksimum, polarisasi antena penerima harus sesuai dengan polarisasi antena pemancar. Misal suatu antena memancarkan gelombang pada polarisasi vertikal, maka antena penerima harus diarahkan sejajar dengan vektor medan listrik agar diperoleh penerimaan yang maksimum.

Antena $5/8\lambda$ adalah antena dengan bentuk geometri dasar berupa tiga dimensi, merupakan kombinasi bentuk garis lurus, lingkaran, dan silinder. Ada beberapa karakteristik dasar dari antena $5/8\lambda$ kawat tunggal ragam sumbu ini, yaitu.

- 1) Antenna $5/8\lambda$ memiliki polarisasi sirkular. Dengan elemen pencatu berpolarisasi sirkular diharapkan rugi polarisasi silang berkurang.
- 2) Dimensi antena mempunyai hubungan linier dengan panjang gelombang frekuensi tengah operasi, sehingga dimensinya akan semakin kecil dengan meningkatnya frekuensi kerja.
- 3) Pengarahan dan penguatan yang baik pada rentang frekuensi yang lebar.
- 4) Impedansi masukan adalah resistif dan relatif konstan pada rentang frekuensi kerja, sehingga memudahkan untuk realisasi penyepadan impedansi.
- 5) VSWR yang relatif konstan.

Untuk dimensi dan parameter elemen primer antena helix adalah seperti gambar 5.

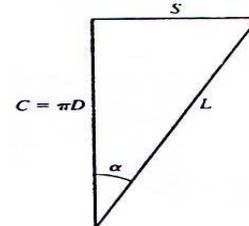


Gambar 5 Konstruksi Antena Helix

dengan D = diameter helix, C = sirkumferensi helix = $\pi \cdot D$, S = jarak antar putaran helix, α = sudut *pitch* = $\text{tg}^{-1}(S/\pi D)$, L = panjang satu putaran, n = jumlah putaran, A = panjang sumbu helix = $n \cdot S$, D = diameter konduktor helix = $2a$

Beberapa dimensi helix kadang dituliskan dengan panjang gelombang (λ), misalnya C_λ dan S_λ . Simbol λ tersebut melambangkan dimensi yang bersangkutan diukur berdasarkan nilai panjang gelombang.

Jika satu putaran helix dibentangkan pada bidang datar, hubungan antara S , C , L dan α merupakan suatu hubungan segitiga seperti pada gambar 6.



Gambar 6 Hubungan antara S, C, L dan α

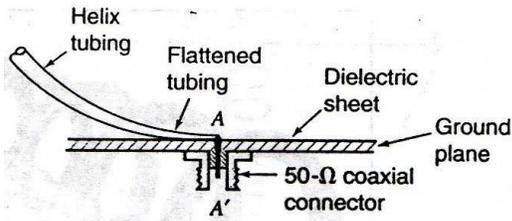
Antena $5/8\lambda$ dapat diumpamakan secara aksial, dengan sisi luar ditempatkan *ground plane*. Konduktor dalam dari kabel *coaxial* terhubung ke antena $5/8\lambda$ dan konduktor luar menuju *ground plane*. *Ground plane* dapat berbentuk lingkaran maupun kotak dengan diameter atau dimensi sisi setidaknya $3/4 \lambda$.

Nilai Impedansi terminal antena helix dapat diperoleh dari persamaan sebagai berikut

$$R(\Omega) = \frac{150}{\sqrt{C_\lambda}} \quad (4)$$

Namun pada umumnya saluran transmisi yang digunakan pada televisi yaitu kabel *coaxial* dengan impedansi karakteristik 75 ohm, sedangkan impedansi antena helix sekitar 150 ohm. Sehingga harus dilakukan *matching* (penyepadan) impedansi antara antena dan

saluran transmisinya. Salah satu caranya adalah dengan membuat kawat dari $\frac{1}{4}$ putaran terakhir helix untuk dipipihkan atau diruncingkan secara berangsur-angsur sampai dengan sepenuhnya pada terminal, seperti pada gambar di bawah ini



Gambar 7 Penyepadanan Impedansi

Perancangan Antena $5/8\lambda$

Dalam merancang suatu antena terlebih dahulu ditentukan parameternya. Adapun parameter yang harus diperhatikan perancangan antena ini adalah sebagai berikut (1) Menentukan frekuensi kerja dan panjang gelombang. (2) Menentukan jarak lengkung antena $5/8\lambda$. (3) Nilai impedansi antena $5/8\lambda$. (4) Nilai VSWR.

Tahap-tahap perancangan elemen primer dari antena $5/8\lambda$ adalah sebagai berikut:

a) Menentukan frekuensi kerja dan panjang gelombang

Lebar pita frekuensi yang diinginkan merupakan band VHF, sebagai band operasi dengan bandwidth 30MHz - 300MHz. Frekuensi kerja antena yang dirancang pada 144 MHz, sedang diameter bahannya adalah $d = 1,905$ cm. Untuk mencari panjang gelombangnya :

$$\lambda = \frac{c}{f} \Rightarrow \frac{3 \times 10^8}{144 \times 10^6} = 2,08 \text{ m} \Rightarrow 208 \text{ cm}$$

Hasil λ tersebut masih disebut sebagai panjang listrik (*electrical length*) untuk mendapat panjang fisik antena (*physical length*) perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{perbandingan } 1/2\lambda \text{ diameter bahan} &= \frac{\lambda}{d} 0,5 \\ \Rightarrow \frac{208}{1,905} 0,5 &= 54,6 \text{ cm} \end{aligned}$$

54,6 tersebut dikoreksi dengan factor K, harga K tersebut diperoleh dengan melihat kurva pada gambar 2 maka hasil yang didapat adalah $K = 0,96$, sehingga :

$$\lambda = 208 \times 0,96 = 199,7 \text{ cm}$$

Sedang antena yang dibuat adalah $5/8\lambda$ ($5/8 = 0,625$) sehingga menjadi :

$$\frac{5}{8} \lambda = 199,7 \times 0,625 = 124 \text{ cm}$$

Agar dihasilkan antena yang maksimal dan optimal maka hasil λ yang didapat tadi dibagi menjadi 3 bagian sehingga perhitungannya menjadi :

$$1/3 \text{ bagian} = \frac{124,8}{3} = 42 \text{ cm}$$

b) Menentukan jarak lengkung antena $5/8\lambda$

Berdasarkan Gambar 6 maka jarak antar putaran helix berkaitan dengan sudut angkat (α). Oleh sebab itu terlebih dahulu ditentukan sudut angkatnya yaitu $\alpha = 12^\circ$, karena sudut angkat (*pitch angle*) yang optimal berkisar 12° s.d. 14° . Sehingga jarak antar putaran antena $5/8\lambda$ adalah:

$$\alpha = \arctan \frac{S}{C} \Leftrightarrow \tan \alpha = \frac{S}{C}$$

$$\tan 12^\circ = \frac{S}{124,8} \Rightarrow S = 0,21 \times 124,8 = 26 \text{ cm}$$

Sedangkan untuk nilai S_λ adalah

$$S_\lambda = \frac{S}{\lambda} = \frac{26}{124,8} = 0,21$$

c) Nilai Impedansi Antena $5/8\lambda$

Berdasarkan Persamaan (4) maka nilai impedansi antena $5/8\lambda$ adalah

$$R = \frac{50}{\sqrt{C_\lambda}} = \frac{50}{\sqrt{1}} = 50 \Omega$$

d) Nilai VSWR

Pada umumnya saluran transmisi yang digunakan pada pemancar radio yaitu kabel *coaxial* dengan impedansi karakteristik 50 ohm, sedangkan impedansi antena $5/8\lambda$ sebesar 50 ohm, maka nilai VSWR adalah sebagai berikut

$$VSWR = \frac{Z_L}{Z_0} = \frac{50}{50} = 1$$

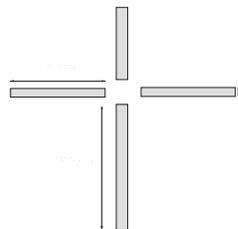
Sebagai konduktornya dipilih bahan aluminium yang memiliki konduktivitas cukup baik yaitu sebesar 3.72×10^7 mho/m. Bahan aluminium juga banyak tersedia di pasaran dan harganya terjangkau. Diameter aluminium yang digunakan adalah sekitar 1,905 cm, karena

diameter sebesar itu tidak terlalu kaku untuk dibuat melengkung.

Penyepadanan impedansi dibuat dengan cara, yaitu kawat dari $1/4$ putaran terakhir untuk dipipihkan atau diruncingkan secara berangsur-angsur sampai dengan sepenuhnya pada terminal, seperti pada Gambar 7.

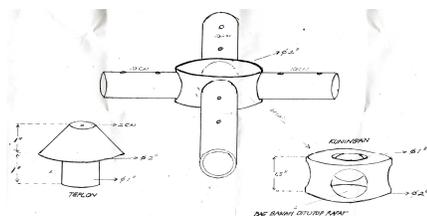
Untuk langkah-langkah pembuatan atau pembangunan dari antena $5/8\lambda$ adalah sebagai berikut

- 1) Membuat kerangka antena $5/8\lambda$ sebagai mast boom dari pipa alumunium, sesuai dengan ukuran yang telah dirancang dan diperhitungkan, seperti pada gambar berikut :



Gambar 8 Kerangka Antena $5/8\lambda$ sebagai Mast Boom

- 2) Untuk membuat radiator melengkung dilakukan dengan cara pipa aluminium langsung dirol pada alat pengerol.
- 3) Selanjutnya mengatur jarak antar radiator sesuai dengan perhitungan. Agar radiator tidak bergerak, maka dipasang klem untuk menjepit pipa aluminium pada mast boom.
- 4) Penyepadanan impedansi dibuat dengan cara yaitu kawat dari $1/4$ putaran terakhir untuk dipipihkan atau diruncingkan dengan kikir secara berangsur-angsur sampai dengan sepenuhnya pada terminal.
- 5) *Groundplane* dibuat dari bronze dan di atasnya diberi Teflon berbentuk kros melingkar dimal dan dibentuk dengan mesin bubut sebagai tumpuan antena (*feeding point*) yang akan dirancang.



Gambar 9 Feeding Point

Konektor dipasang menempel pada *groundplane* dengan konduktor luar disolder terhubung pada

groundplane dan konduktor dalam disolder terhubung dengan antena yang dirancang.

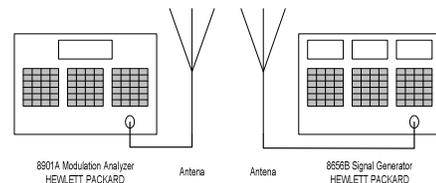
Adapun konstruksi antena $5/8\lambda$ secara keseluruhan adalah seperti pada gambar 10.



Gambar 10. Konstruksi real antena $5/8\lambda$

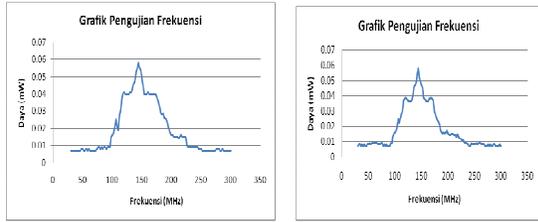
Pengujian Antena

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui frekuensi resonansi dan lebar pita frekuensi dari antena yang diuji. Dalam pengujian ini menggunakan alat ukur Signal Generator Hewlett Packard 8656B, Modulation Analyzer Hewlett Packard 8901A, antena radio, dan konektor secukupnya. Adapun konfigurasi pengujian adalah seperti pada Gambar 12.



Gambar 11. Konfigurasi Pengujian Frekuensi

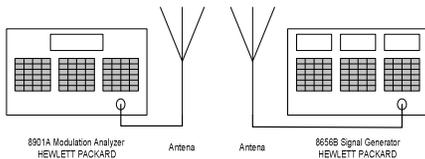
Apabila antena $5/8\lambda$ akan diuji sebagai antena penerima, maka antena $5/8\lambda$ dihubungkan pada alat ukur Modulation Analyzer HP 8901A. Sedangkan sebagai pemancarnya menggunakan antena teleskopik yang dihubungkan pada Signal Generator HP 8656B. Sebaliknya, bila antena $5/8\lambda$ akan diuji sebagai antena pemancar maka dihubungkan pada Signal Generator HP 8656B, dan penerimanya menggunakan antena teleskopik yang dihubungkan pada Modulation Analyzer HP 8901A. Begitu pula untuk pengujian frekuensi dari antena jenis lainnya dengan langkah yang sama. Pada Signal Generator terlebih dahulu diatur frekuensi dan daya sinyal yang dibangkitkan. Untuk frekuensinya diatur dari 30 MHz sampai dengan 300 MHz dengan daya sinyal 13dBm (daya maksimal yang dapat dibangkitkan). Dengan kelipatan 2 MHz, dicatat daya sinyal yang dapat diterima oleh Modulation Analyzer dan selanjutnya dapat dibuat grafiknya.



Gambar 12 hasil uji frekuensi sebagai Pemancar (kiri) dan Penerima

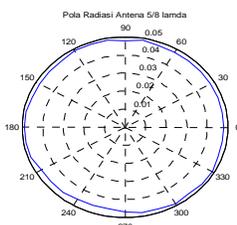
Dari hasil-hasil data di atas dapat diketahui bahwa antenna $5/8\lambda$, yang diujikan sudah bekerja pada frekuensi yang diharapkan yaitu dapat menerima dan memancarkan sinyal pada rentang frekuensi 30 MHz sampai 300 MHz. Untuk frekuensi resonansi antenna $5/8\lambda$ sudah sesuai yang ditentukan yaitu tepat pada frekuensi 144 MHz.

Pengujian pola radiasi bertujuan untuk mengetahui pola radiasi antenna yang diuji. Dalam pengujian ini menggunakan alat ukur Signal Generator Hewlett Packard 8656B, Modulation Analyzer Hewlett Packard 8901A, Adapun konfigurasi pengujian adalah seperti pada Gambar 12



Gambar 13 Konfigurasi Pengujian Pola Radiasi

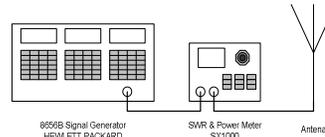
Sama halnya pada pengujian frekuensi, antenna yang akan diuji dapat dijadikan sebagai pemancar maupun penerima. Namun pada pengujian ini frekuensi pada Signal Generator diatur hanya pada frekuensi resonansi dari antenna uji, yang mempunyai nilai daya sinyal tinggi. Untuk mendapatkan hasil pola radiasi, antenna uji diputar 360° dengan setiap kelipatan 10° dicatat daya sinyal yang dapat diterima oleh Modulation Analyzer. Kemudian dari hasil tersebut, dibuat pola radiasinya dengan menggunakan program MATLAB 7.01. Hasilnya seperti gambar berikut.



Gambar 14 Pola Radiasi Antena $5/8\lambda$.

Pada pengujian ini, hasil pola radiasi yang diperoleh sudah sesuai dengan yang diharapkan. Meskipun dalam penggambarannya masih terlihat kasar karena dalam pengujian dilakukan secara manual dan skala kelipatan sudutnya sebesar 10° .

Pengujian VSWR bertujuan untuk mengetahui besarnya nilai VSWR dari masing-masing antenna yang diuji. Dalam pengujian ini menggunakan alat ukur Signal Generator Hewlett Packard 8656B, SWR Meter SX-1000, dan konektor secukupnya. Adapun konfigurasi pengujian adalah seperti pada Gambar 15.



Gambar 15 Konfigurasi Pengujian VSWR

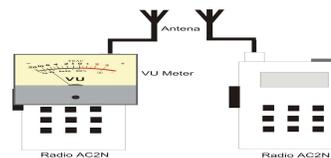
Pada pengujian ini, frekuensi dan daya sinyal yang akan dibangkitkan oleh Signal Generator terlebih dahulu diatur. Untuk frekuensinya diatur mulai dari 30 MHz sampai dengan 300 MHz dan daya sinyalnya sebesar 13 dBm. Dengan kelipatan frekuensi 2 MHz dari pembangkit, dapat dicatat nilai VSWR yang ditunjukkan oleh SWR Meter dan selanjutnya dapat dibuat grafiknya.



Gambar 16 Hasil Pengujian VSWR

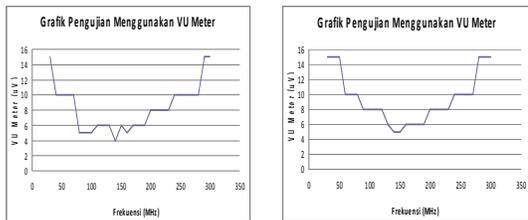
Hasil pengujian diatas menunjukkan bahwa antenna yang uji memiliki penyepadanan impedansi yang baik. Karena memiliki nilai VSWR lebih kecil dari 1,25 pada frekuensi resonansi.

Pada tahap pengujian dengan radio, antenna uji secara langsung pada pesawat radio AC2N dengan VU meter analog. Adapun konfigurasi pengujian adalah seperti pada Gambar 17



Gambar 17 Konfigurasi Pengujian VU Meter

Antena $5/8\lambda$ digunakan sebagai antenna penerima, sedangkan sebagai antenna pemancar digunakan antenna helical dan antenna teleskopik. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 18.



Gambar 18 hasil uji pemancar antenna Helical (kiri) dan antenna Teleskopik

PENUTUP

Berdasarkan hasil pengujian antenna $5/8\lambda$ yang dirancang sudah sesuai dengan yang diharapkan yaitu beresonansi pada frekuensi 144 MHz. Pola radiasi antenna $5/8\lambda$ berbentuk melingkar.

Hasil pengujian pola radiasi antenna $5/8\lambda$ nilai daya terkecil adalah 0,046 mW daya terbesar diperoleh 0,049 mW.

Antena $5/8\lambda$ sebagai penerima, antenna helical dan antenna teleskopik sebagai pemancar didapat nilai VU meter analog sebesar 11 μ V.

Hasil pengujian VSWR antenna $5/8\lambda$ diperoleh nilai VSWR terbesar sebesar 1,23 untuk nilai VSWR terkecil 1,09 tepat pada frekuensi yang ditentukan yaitu 144 MHz. Adapun saran untuk penelitian selanjutnya dalam pengujian, skala untuk hasil pengujian dapat diperkecil untuk memperoleh hasil yang akurat, misalnya, untuk pola radiasi digunakan skala pengujiannya sebesar 2° .

Untuk mendapatkan polarisasi yang benar-benar *circular* atau melingkar maka pembuatan antenna ini distek lebih dari satu (2,4,6,8....dst.)

Dapat dikembangkan pula untuk rancang bangun antenna jenis lainnya, selain antenna $5/8\lambda$ dan antenna yang sudah beredar di pasar.

DAFTAR RUJUKAN

- Amos, *Kamus elektronika*, Cetakan ke-3, PT. Elex Media Komputindo, Jakarta, 1996.
- Carr, J.J, *Practical Antena Hand Book*, 4th ed., Mc. Graw Hill, USA, 2001.
- Kraus and Marhefka, *Antennas : for All Applications*, 3rd ed., Mc. Graw Hill, New York, 2002.
- Wasito, *Vademekum Elektronika*, PT. Gramedia, Jakarta, 1985.